

УДК 004.932

А. Г. Деревянченко, д-р техн. наук,

О. Ю. Бабилунга, канд. техн. наук,

А. С. Яремчук, Д. В. Гончаренко

### ФОРМИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛЕЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

**Аннотация.** Рассмотрена проблема формирования трехмерных моделей режущей части новых и изношенных инструментов по изображениям, полученным цифровой камерой с использованием специального приспособления, обеспечивающего регистрацию набора многовидовых снимков. Предложена модификация метода трехмерной многовидовой реконструкции объектов за счет введения дополнительных процедур обработки с целью повышения точности трехмерного представления режущей части инструмента при оценке его состояния в системе технического зрения.

**Ключевые слова:** 3D-модель, режущий инструмент, оценка износа, цифровая камера, многовидовая реконструкция, система технического зрения, точность трехмерного представления

A. G. Derevyanchenko, ScD.,

O. Yu. Babilunga, PhD.,

A. S. Yaremchuk, D. V. Goncharenko

### FORMING 3D-MODELS OF THE CUTTING TOOL IN THE MACHINE VISION SYSTEM

**Abstract.** The problem of the forming of three-dimensional models of new and worn cutting tools on the base images from a digital camera, which were got using a special device for providing registration different images types, was considered. The modification method of three-dimensional reconstruction, by introducing additional processing procedures in order to improve the accuracy of three-dimensional representation of the cutting tool at evaluation the degree of wear in the machine vision system was offered.

**Keywords:** 3D-model, cutting tools, evaluation of the wear, digital camera, Multispecies reconstruction, vision system, the accuracy of three-dimensional representation

О. Г. Дерев'янченко, д-р техн. наук,

О. Ю. Бабілунга, канд. техн. наук,

А. С. Яремчук, Д. В. Гончаренко

### ФОРМУВАННЯ 3D-МОДЕЛЕЙ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ІНСТРУМЕНТА В СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

**Анотація** Розглянуто проблему формування тривимірних моделей різальної частини нових і зношених інструментів, за зображеннями, що отримані цифровою камерою з використанням спеціального пристосування, що забезпечує реєстрацію набору багатовидових знімків. Запропоновано модифікацію методу тривимірної багатовидової реконструкції об'єктів, за рахунок введення додаткових процедур обробки з метою підвищення точності тривимірного представлення різальної частини інструмента при оцінці його стану в системі технічного зору.

**Ключові слова:** 3D-модель, різальний інструмент, оцінка зносу, цифрова камера, багатовидова реконструкція, система технічного зору, точність тривимірного представлення

Стремительный рост информационных потоков, которые обрабатываются в современных интегрированных производствах уровня СИМ (Computer Integrated Manufacturing), обуславливает необходимость автоматизации и интеллектуализации оборудования – станков с числовым программным управлением и гибких производственных модулей (ГПМ).

Этот процесс сопровождается развитием методов и систем интеллектуальной обра-

ботки и анализа данных для решения широкого круга задач, в том числе – задачи экономики материальных и энергетических ресурсов.

На практике неполное использование рабочего ресурса режущих инструментов, их непредвиденные отказы приводят к необходимости создания значительных запасов режущего инструмента (РИ) для обеспечения потребностей технологического процесса.

Одним из путей сокращения расходов на дорогостоящие режущие инструменты является разработка компонентов системы технического зрения (СТЗ) для оценки состоя-

© Бабилунга О.Ю., Деревянченко А.Г., Яремчук А.С., Гончаренко Д.В., 2013

ния инструмента и своевременной замены его на стадии предотказа, ориентированной на решение задачи восстановления режущей части (РЧ) снятого со станка инструмента с наименьшими потерями дорогостоящих инструментальных материалов. В процессе восстановления режущей части отказавших инструментов важная роль принадлежит созданию и исследованию методов построения 2D- и 3D-моделей режущей части нового, изношенного РИ и инструмента в предотказном состоянии.

Традиционно по результатам контроля РЧ инструмента представляется двумя ортогональными проекциями (цифровыми изображениями) на основную и рабочую плоскости в системе геометрии РИ. Обработка полученных изображений – образов РЧ в двухмерном пространстве – выполняется, как правило, с применением методов контурной сегментации [1] (оценка формы зоны износа по внешней границе) или текстурного анализа [3] (оценка структуры поверхности зоны износа). При этом оценка формы и текстуры изменения состояний поверхности и режущих кромок по полученным изображениям выполняется автономно. Это приводит к существенным потерям ценной диагностической информации о реальном пространственном положении режущей кромки – основного формообразующего элемента инструмента. Вышесказанное обуславливает актуальность получения 3D-модели РЧ инструмента и проведение на ее основе дальнейшего диагностического анализа состояния инструмента в СТЗ.

Анализ научных источников показал, что задача оценки состояния режущего инструмента на основе 3D-моделей, по существу, является задачей определения параметров пространственного отклонения текущей формы РЧ режущего инструмента от исходной формы. Подобное отклонение может возникнуть, например, в результате пластической деформации материала инструмента, наличия скола или нароста на РЧ инструмента. Задача оценки состояния РИ может быть решена с применением технологии цифровой обработки изображений в 3D пространстве [4, 6] в два этапа: трехмерная реконструкция объекта (построение 3D-модели) и оценка

формы объекта по полученным 3D-моделям. В данной работе основное внимание уделено реализации первого этапа.

Анализ проблемы трехмерной реконструкции объектов показал, что, несмотря на явные функциональные преимущества – образ объекта в трехмерном пространстве дает гораздо больше информации о форме объекта, чем двухмерное представление [5] – решение этой проблемы сопряжено с рядом сложностей. Основными из них являются, во-первых, использование дорогостоящего оборудования для регистрации исходных данных об объекте, например лазерного сканера или 3D камеры и, во-вторых, отсутствие единого формата описания трехмерного представления объектов [6].

*Цель работы* – исследование и усовершенствование метода построения 3D-модели объекта (на примере резцов для прецизионного точения) для повышения точности представления режущей части РИ в СТЗ.

В структуре современных станков класса ГПМ широко используются цифровые фото- и видео- камеры. Поэтому для формирования 3D-модели РЧ РИ предложено применить метод многовидовой трехмерной реконструкции объектов [4], использующий на этапе регистрации данных об объекте, цифровую фотокамеру, формирующей 3D-модели объектов в виде единой формы – облака точек – и обеспечивающий достаточную точность реконструкции.

Первоначальные изображения РЧ режущего инструмента были получены по схеме, приведенной на рис. 1, с помощью цифровой фотокамеры Sony DSC-W100.

Съемка РЧ инструмента проводилась при его фиксированном положении в пространстве (вращалась цифровая камера с использованием специального приспособления). За одну серию съемки регистрировали набор из 15 цифровых изображений РЧ резца для чистового точения, полученных с разных ракурсов положения камеры.

Реализация метода была выполнена по следующему алгоритму.

*Шаг 1.* Поиск особых точек с использованием алгоритма SIFT [8, 9] на изображениях объекта, полученных с разных ракурсов.

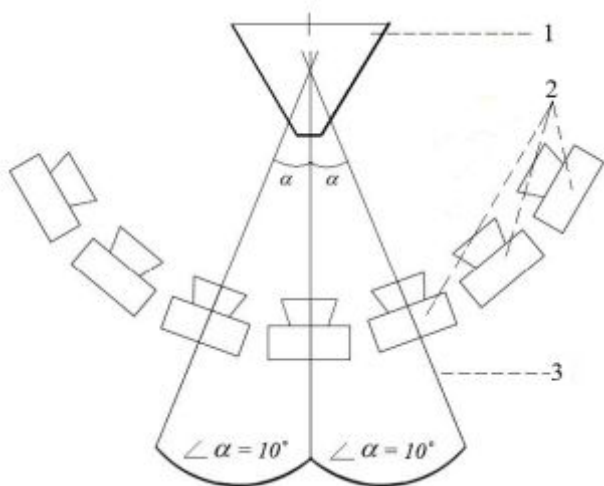


Рис. 1. Схема регистрации цифровых изображений РЧ РИ с использованием специальной установки: 1 – положение режущего инструмента; 2 – положение цифровой фотокамеры; 3 – угол, определяющий ракурс съемки

*Шаг 2.* Поиск соответствующих особых точек для всех пар изображений объекта.

*Шаг 3.* Определение внутренних и внешних параметров камеры для каждого изображения объекта [6].

*Шаг 4.* Определение трехмерных координат для найденных соответствующих осо-

бых точек – построение облака точек [10, 11].

*Шаг 5.* Построение полигональной модели путем триангуляции [4, 7] полученного облака точек.

Для проведения компьютерного эксперимента метод многовидовой трехмерной реконструкции объекта программно реализован на языке программирования C++ с использованием графической библиотеки Qt. Для визуализации трехмерных объектов применена графическая библиотека OpenGL. В качестве формата представления полигональных 3D моделей выбран формат OBJ.

В алгоритме многовидовой реконструкции, описанном в литературе [4], выполняется поиск пар особых точек между всеми изображениями, поступающими на вход системы, так как в базовой реализации нет информации о положении цифровой камеры. В реализованном алгоритме 3D реконструкции есть априорная информация о положении камеры, что позволяет выбирать конкретные пары изображений для сравнения. В табл.1 приведен результат подсчета найденного количества пар особых точек на разных парах изображений объекта.

1. Количество найденных особых точек на разных парах изображений

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	–	220	197	175	97	35	30	24	20	16	14	11	13	9	3
2	220	–	255	225	166	74	43	31	29	24	14	17	21	13	6
3	197	356	–	371	224	169	70	54	47	36	31	30	30	19	4
4	175	225	371	–	411	251	142	102	74	41	33	32	11	2	0
5	97	166	224	411	–	384	236	184	173	132	92	37	19	13	1
6	35	74	251	251	384	–	367	256	174	144	87	43	29	14	2
7	30	43	70	142	236	367	–	457	216	159	103	56	30	21	0
8	24	31	54	102	173	256	457	–	402	267	144	56	32	15	0
9	20	29	47	74	132	174	216	402	–	394	251	141	73	39	27
10	16	24	36	41	119	144	159	267	394	–	386	201	143	72	31
11	14	14	31	33	92	87	103	144	251	386	–	312	198	86	51
12	11	17	30	32	37	43	56	56	141	201	312	–	259	121	76
13	13	21	30	11	19	29	30	32	73	143	198	259	–	241	112
14	9	13	19	2	13	14	21	15	39	72	86	121	241	–	403
15	33	6	4	0	1	2	0	0	27	31	51	76	112	403	–

Из таблицы видно, что наибольшее количество соответствующих пар особых точек получается при сравнении двух изображений, которые были получены в соседних положениях фотокамеры при съемке РЧ (рис. 2, а). Анализ найденных пар точек, полученных при сравнении изображений объекта из ракурсов, расположенных с разностью углов больше  $60^\circ$ , показал, что такие пары точек не вносят существенного вклада в результирующее облако точек и могут быть исключены из рассмотрения (рис. 2, б) на шаге поиска соответствия для повышения быстродействия системы.

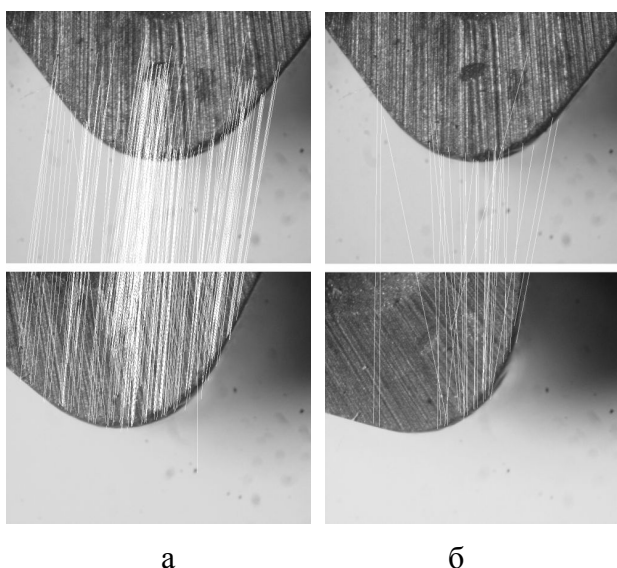


Рис. 2. Найденные пары особых точек на изображениях:  
а – из соседних ракурсов; б – из ракурсов с разностью углов  $60^\circ$

На этапе поиска координат соответствующих пар особых точек на каждой из пар изображений РЧ было найдено в среднем 250 – 400 пар точек. В результате попарного сравнения изображений, подсчета точек и исключения повторений, всего на изображениях данной серии съемки РИ было найдено около шестисот пар особых точек, для которых были рассчитаны их пространственные координаты. Полученное облако точек оказалось очень разреженным, в результате чего был сделан вывод, что данного количества особых точек недостаточно для построения полигональной модели высокого качества.

На рис. 3 приведен результат трехмерной реконструкции РЧ РИ, выполненной по

базовому алгоритму. Из рисунка видно, что поверхность построенной модели РЧ инструмента является излишне рельефной и содержит большое количество артефактов.

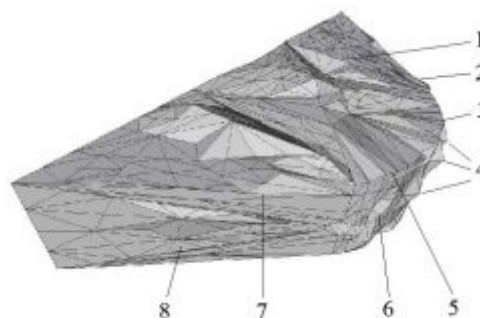


Рис. 3. Результат трехмерной реконструкции 3D-модели режущей части резца для прецизионной обработки, выполненной по базовому алгоритму: 1 – образ передней поверхности; 2 – образ главной режущей кромки; 3 – образ переходной режущей кромки; 4 – артефакты модели в области переходной задней поверхности РЧ; 5 – артефакты модели в области передней поверхности РЧ; 6 – образ переходной задней поверхности РЧ; 7 – образ вспомогательной режущей кромки РЧ; 8 – образ вспомогательной задней поверхности РЧ

Для улучшения качества модели РЧ РИ, полученной методом многовидовой трехмерной реконструкции, было решено дополнить базовый алгоритм процедурами, выполняющими поиск на исходных изображениях геометрических примитивов [8]. Под геометрическими примитивами будем понимать кривые первого, второго или  $n$ -го порядка. Выбор данного подхода объясняется тем, что кроме положения камеры при съемке нам известна априорная информация о геометрической форме объекта. Зная, из каких геометрических примитивов состоит объект, можно выполнить поиск данных примитивов, и аппроксимировать их в аналитическом виде.

Поиск геометрических примитивов выполнялся с помощью преобразования Хафа – метода для поиска объектов, принадлежащих определенному классу фигур (линий, кругов и других простых форм) на изображении [2, 7].

Первоначально был выделен контур РЧ РИ с применением детектора контуров Канны [7]. Предварительно для уменьшения влияния помех и текстуры поверхности (рис. 4, а) изображение было размыто фильтром Гаусса с размером окна  $5 \times 5$ . Результат обработки изображения детектором контуров Канны приведен на рис. 4, б. На рис. 5 показаны пространство Хафа для контурного изображения объекта и найденные прямые.

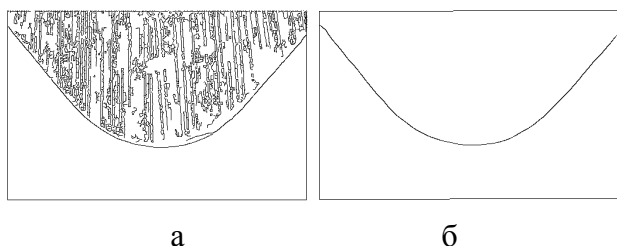


Рис. 4. Результат выделения контуров объекта детектором Канны: а – без фильтра Гаусса; б – с использованием фильтра Гаусса

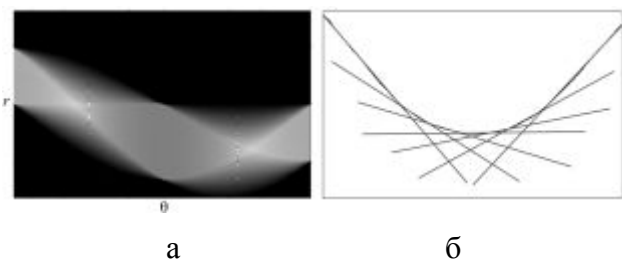


Рис. 5. Результат обработки контурного изображения РЧ РИ с применением алгоритма Хафа: а – пространство Хафа для изображения контуров РЧ; б – прямые касательные к профилю РЧ

С использованием уравнения каждой прямой, контур объекта был аппроксимирован набором отрезков и определены координаты его концов. Найденные пространственные координаты отрезков использовались в качестве координат полигонов для создания полигональной модели объекта. Улучшенный результат реконструкции РЧ РИ показан на рис. 6. Схема модифицированного метода трехмерной многовидовой реконструкции РЧ РИ представлена на рис. 7, цифрами в кружках обозначены: 1 – передаваемый набор цифровых изображений РЧ РИ, полученных из разных ракурсов путем вращения цифровой камеры относительно неподвижного РИ; 2 – передаваемые наборы особых

точек по каждому изображению; 3 – внутренние и внешние параметры цифровой камеры; 4 – полигональная 3D-модель режущей части РИ; 5 – координаты концов найденных отрезков; 6 – изображения выделенных контуров на режущей части РИ.

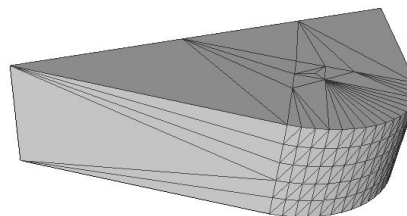


Рис. 6. Результат трехмерной реконструкции режущей части реза для прецизионной обработки, выполненной по модифицированному методу



Рис. 7. Схема усовершенствованного метода трехмерной многовидовой реконструкции режущей части РИ

Точность оценки степени износа режущего инструмента на основе 3D-модели существенно зависит от точности реконструкции полигональной модели, построенной на первом этапе.

Оценка точности реконструкции 3D-модели проводилась на пяти эталонных объектах. Первый объект – куб объемом  $1000 \text{ см}^3$ , а другие объекты имели пространственную деформацию формы относительно первого объемом 1, 8, 16,  $24 \text{ см}^3$ . Под пространственной деформацией, моделирующей процесс макро износа инструмента, здесь понимается нарушение целостности формы исходной модели объекта путем удаления ее



части. В табл. 2 приведены значения относительной разницы  $\Delta V$  между известными величинами объемов исходных эталонных объектов и объемами 3D-моделей, полученными по базовому (I) и предложенному модифицированному (II) методам многовидовой реконструкции объектов.

2. Оценка относительной разницы между значениями объемов эталонного объекта и рассчитанного по его 3D-модели

Номер модели / объем области деформации V, см <sup>3</sup>	Относительная разница $\Delta V$ , %	
	I метод	II метод
1 / 0	6,5	2,5
2 / 1	7,4	3,3
3 / 8	6,7	2,9
4 / 16	6,9	2,9
5 / 24	7,1	3,1

### Выводы

Проанализированы особенности процесса оценки состояния режущего инструмента в условиях применения современных станков с числовым программным управлением и гибких производственных модулей.

Показана необходимость и целесообразность проведения контроля состояния РЧ инструмента на основе ее трехмерного представления. Для построения полигональной модели РЧ РИ предложен и реализован модифицированный метод трехмерной многовидовой реконструкции объекта. Затраты на построение 3D-модели РЧ РИ на основе данного метода существенно меньше, чем потери, к которым могут привести своевременно не отслеженные отказы РИ в процессе обработки деталей, особенно на финальных операциях, возникшие в результате поломок, сколов РЧ РИ.

В ходе компьютерного эксперимента исследована точность построения полигональной модели объектов. Установлено, что относительная разница между объемом реального объекта и его 3D-моделью, полученной по предложенному методу составляет в среднем 3 %, что почти в 2 раза меньше аналогичного показателя при применении базового метода.

Построение 3D-модели РЧ РИ и повышение точности ее представления позволило получить информацию о геометрии режущей кромки инструмента в трехмерном пространстве, что обеспечило необходимые условия для проведения дальнейших исследований по оценке степени макро износа РЧ инструмента в СТЗ.

Модифицированный метод трехмерной многовидовой реконструкции объектов можно рекомендовать для построения 3D-модели объекта при решении задачи оценки его формы в системах технического зрения различного прикладного назначения.

### Список использованной литературы

1. Антошук, С. Г. Контурна сегментація зображень при контролі різальних інструментів / С. Г. Антошук, О. Ю. Бабілунга, О. Г. Дерев'янченко // Вісник ЖДТУ. – Житомир: – 2006. – № 4(39). – С. 3 – 8.
2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
3. Дерев'янченко, О. Г. Комплексне розпізнавання текстурних зображень поверхонь зношених та пошкоджених різальних інструментів / О. Г. Дерев'янченко, О. Ю. Бабілунга // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 07(83) – С. 137 – 142.
4. Иванов, В. П. Трехмерная компьютерная графика / В. П. Иванов, А. С. Батраков. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.
5. Марр, Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и переработке зрительных образов / Д. Марр. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.
6. Форсайт, Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
7. Шапиро, Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
8. Bernal, J. Feature Detectors and Feature Descriptors: Where We Are Now / J. Bernal, F. Villarino, J. Sanchez // CVC Technical Report. – 2010. – № 154. – P. 1 – 108.
9. Lowe, D. G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints / D. G. Lowe //

International Journal of Computer Vision. – 2004. – № 60. – С. 91 – 110.

10. Osada, R. Matching 3D Models with Shape Distributions / R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, D. Dobkin // SMI 2001 International Conference. – 2001. – P. 154 – 166.

11. Osada, R. Shape Distributions / R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle // ACM Trans. on Graph. – 2002. – Vol. 21, № 4. – P. 807–832.

Получено 25.01.2013

### References

1. Antoschuk, S. G. Contour segmentation of images at the control of cutting tools / S. G. Antoschuk, O. Yu. Babilunga, O. G. Derevyanchenko // *Announcer GDTU*. – 2006. – № 4(39). – С. 3 – 8 [in Ukrainian].

2. Gonsales, R. Digital image processing / R. Gonsales, R. Vuds. – Moscow: Technosphere, 2005. – 1072 p. [in Russian].

3. Derevyanchenko, O. G. Integrated recognition of texture images of surfaces worn and damaged cutting tools / O. Yu. Babilunga, O. G. Derevyanchenko // *Electrical and Computer Systems*. – 2012. – № 07(83) – P. 137 – 142 [in Ukrainian].

4. Ivanov, V. P. Three-dimensional computer graphics / V. P. Ivanov, A. S. Batrakov. – Moscow: Radio and Communications, 1995. – 224 p. [in Russian].

5. Marr, D. Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information / D. Marr. – Moscow: Radio and communications, 1987. – 400 p. [in Russian].

6. Forsyth, D. Computer vision. A modern approach / D. Forsyth, J. Ponce. – Moscow: Publish house «Williams», 2004. – 928 p. [in Russian].

7. Shapiro, L. Computer vision / L. Shapiro, G. Stockman. – Moscow: BINOM Knowledge laboratory, 2006. – 752 p. [in Russian].

8. Bernal, J. Feature Detectors and feature descriptors: Where we are now / J. Bernal, F.

Villarino, J. Sanchez // *CVC Technical Report*. – 2010. – № 154. – P. 1 – 108 [in English].

9. Lowe, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints / D. G. Lowe // *International Journal of Computer Vision*. – 2004. – № 60. – С. 91 – 110 [in English].

10. Osada, R. Matching 3D Models with shape distributions / R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, D. Dobkin // SMI 2001 International Conference. – 2001. – P. 154 – 166 [in English].

11. Osada, R. Shape distributions / R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle // *ACM Trans. on Graph.* – 2002. – Vol. 21. – № 4. – P. 807–832 [in English].



Бабилунга Оксана Юрьевна,  
канд. техн. наук, доцент  
каф. информационные системы  
Одесского нац. политехн. ун-та  
e-mail: babilunga@mail.ru,  
тел. 7058-356



Деревянченко Александр  
Георгиевич, д-р техн. наук,  
проф., зав. каф. технологии  
конструкционных материалов и  
материаловедения Одесского  
нац. политехн. ун-та  
e-mail: alder50@mail.ru,  
тел. 7058-456



Яремчук Андрей Сергеевич,  
магистр, каф. информационные  
системы  
Одесского нац. политехн. ун-та  
e-mail:  
a.s.yaremchuk@gmail.com



Гончаренко Дмитрий  
Викторович, студент, каф.  
Информационные системы  
Одесского нац. политехн. ун-та  
e-mail: dmitrii-  
goncharenko@mail.ru